

ВЛИЯНИЕ СОСТАВА ЗАЩИТНОГО ФЛЮСА НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА ПОКРЫТИЙ СИСТЕМЫ «Ti-Nb» ПОЛУЧЕННЫЕ МЕТОДОМ ВНЕВАКУУМНОЙ ЭЛЕКТРОННО-ЛУЧЕВОЙ НАПЛАВКИ

Поляков И.А.¹, Самойленко В.В.¹, Ленивецова О.Г.¹

Руководитель - проф., д.т.н. Батаев А.А.¹, с.н.с., к. ф-м.н. Голковский М.Г.²

¹Новосибирский государственный технический университет

²Институт ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН,

г. Новосибирск

samoylenko.vitaliy@mail.ru

В работе исследована структура и свойства покрытий, полученных методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошков ниобия на пластины из технически чистого титана VT1-0. Установлено, что использование смеси порошков CaF_2 и LiF в качестве защитного флюса, позволяют формировать качественные поверхностно легированные слои. Покрытия имеют преимущественно дендритное строение, при больших увеличениях наблюдается игольчатая структура. Микротвердость наплавленных слоев не изменяется по сечению образца и составляет 3000-3500 МПа.

Титан и его сплавы находят все более широкое применение в промышленном производстве. Благодаря низкой плотности и высокой коррозионной стойкости титан используется в авиа- и ракетостроении, в химической и ядерной промышленности, а также в медицине. Однако применение титана в особо агрессивных средах, таких, как кипящие концентрированные кислоты, существенно ограничено. Для увеличения коррозионной стойкости титана в растворах кипящих кислот его легируют ниобием [1-3]. Однако создание объемнолегированных сплавов системы Ti-Nb является технологически трудной задачей, заключающейся в многократном электродуговом переплаве [2]. При этом следует отметить, что, рациональным является формирование коррозионностойких покрытий на поверхности деталей конструкции, непосредственно контактирующих с агрессивной средой.

При получения покрытий, содержащих тугоплавкие элементы как ниобий целесообразным является использование высокоэнергетических источников нагрева таких как лазерный луч и электронный пучок. При этом для защиты поверхности расплава от взаимодействия с газами атмосферы в случае лазерной наплавки покрытий Ti-Nb в зону обработки постоянно подается аргон [4], а в случае традиционной электронно-лучевой обработки создается необходимая степень разряжения в вакуумной камере. Тем не менее использование лазерной наплавки для получения крупногабаритных

заготовок является не рациональным в виду того, что ширина дорожки плакирующего слоя составляет несколько миллиметров, а использование электронно-лучевой обработки для получения заготовок больших размеров является технологически неосуществимой задачей из-за ограниченных размеров вакуумной камеры.

Одним из путей решения данной проблемы является использование вневакуумной электронно-лучевой наплавки порошковой смеси, содержащей порошки легирующих элементов и порошки флюса. Использование электромагнитного сканера на выходе электронного луча обеспечивает ширину дорожки до 50 мм. Такое решение позволяет получать заготовки неограниченных размеров с высокой производительностью.

Не смотря на высокие скорости обработки, воздействие атмосферы оказывается существенным. Поэтому одной из важнейших задач является выбор флюса. Флюс не только защищает ванну расплава материала от воздействия атмосферных газов в процессе наплавки, но и обеспечивает очистку поверхности порошков и основного металла от оксидных загрязнений. Механизм очистки основан на растворении оксидных пленок во фторидных флюсах. Компоненты флюса не должны кипеть в процессе обработки, так как это приводит к разбросу модифицирующего порошка и, как следствие, к повышению потерь материала [5].

В работе проводились структурные исследования титан-ниобиевых покрытий, сформированных на поверхности титанового сплава BT1-0 методом вневакуумной электронно-лучевой наплавки. Технологические эксперименты по изготовлению покрытий проводились в Институте ядерной физики им. Г.И. Будкера СО РАН с использованием промышленных ускорителей серии ЭЛВ, в которых реализуется система дифференциальной откачки, что позволяет выводить электронный пучок непосредственно в воздушную атмосферу.

Покрyтия наплавлялись на поверхность пластин из титана BT1-0 размером 50x50 мм² толщиной 10 мм. Перед обработкой титановая заготовка с нанесенным слоем порошков ниобия и флюса устанавливалась на подвижный стол. Затем поступательно перемещалась относительно электронного луча со скоростью 10 мм/с. С целью увеличения производительности поверхность заготовки сканировалась в поперечном направлении с амплитудой 25 мм. Плотность насыпки легирующей порошковой смеси была равна 0,45 г/см². Ток пучка электронов составлял 20 мА.

В ходе эксперимента была реализована наплавка порошковых смесей с флюсом различного состава. В первом случае исходная порошковая смесь состояла из 68 % (вес.) порошка ниобия и 32 % (вес.) фтористого кальция (CaF₂). Во втором случае из 68 % (вес.) порошка ниобия и 24 % (вес.) фтористого кальция (CaF₂) и 8 % (вес.) порошка LiF.

На рисунке 1 представлен внешний вид образцов после наплавки. На поверхности образца, полученного с использованием фтористого кальция, присутствуют цвета побежалости (рис. 1 а), что говорит об окислении поверхности материала в процессе обработки. При частичной замене фтористого кальция на литий фтористый качество поверхности повышается (рис. 1 б). На рисунке 1 б видно, что поверхность образца более блестящая, следов побежалости зафиксировано не было, при этом ширина окисленной области в месте схода пучка электронов меньше.

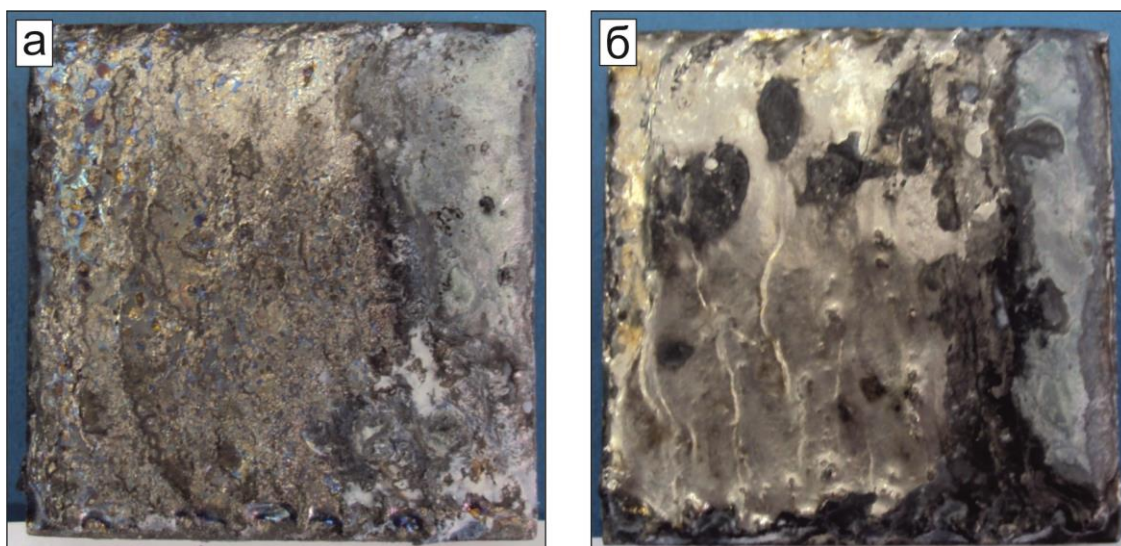


Рисунок 1 – Внешний вид образцов:

а – после наплавки 68 % (вес.) Nb и 32 % (вес.) CaF_2 ;

б – после наплавки 68 % (вес.) Nb, 24 % (вес.) CaF_2 и 8 % (вес.) LiF

Методами оптической микроскопии установлено, что полученные биметаллические композиты имеют градиентное строение. В поперечном сечении образцов можно выделить присутствие трех характерных зон: зоны переплавленного металла, зоны термического влияния, а также зоны основного металла, которая в процессе электронно-лучевой обработки не подвергалась термическому воздействию. Изменение типа применяемых флюсов не оказывает значительного влияния на структуру формируемых покрытий.

Структура обоих покрытий, полученных наплавкой, имеет дендритную морфологию (рис. 2 а). Дендритные кристаллы растут преимущественно в направлении от поверхности вглубь титановой заготовки. Следует отметить, что неравновесные условия охлаждения привели к формированию в приповерхностных слоях хаотично ориентированных дендритов. При больших увеличениях видно, что структура покрытий имеет игольчатое строение (рис. 2 б). Структура подобного типа формируется в закаленных титановых сплавах и представляет собой предположительно α' (α'') – фазу.

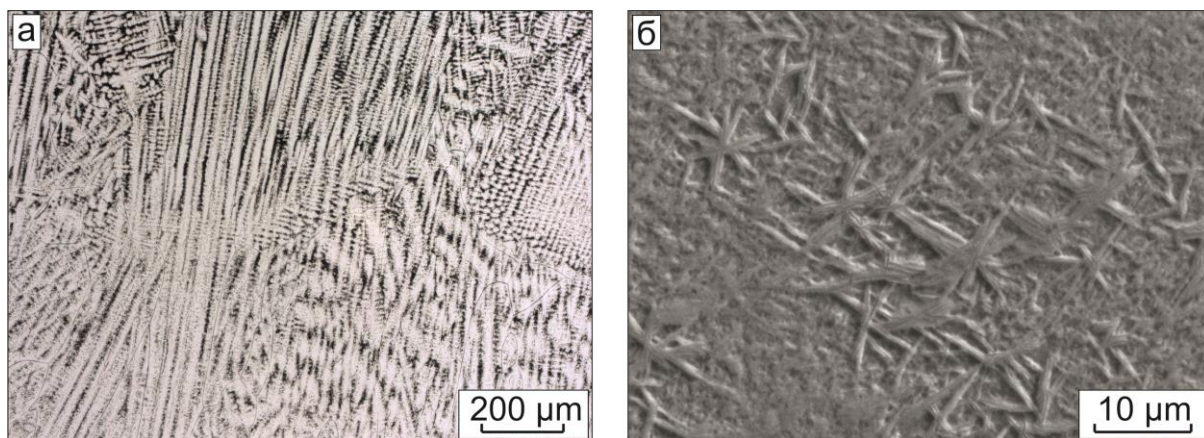


Рисунок 2 – Микроструктура покрытий: а – дендритное строение; б – игольчатое строение

В качестве критерия оценки механических характеристик были выбраны дюрометрические испытания, которые проводились на поперечных шлифах с использованием микротвердомера Wolpert Group 402 MVD. Распределение микротвердости по сечению образцов для слоев, полученных наплавкой легирующей порошковой смеси с различным составом флюса имеет схожий характер (рис. 3). Микротвердость наплавленных слоев не изменяется по сечению покрытия и составляет 3000-3500 МПа. Значение данного параметра скачкообразно изменяется до 1700 МПа при переходе в титановую основу. Максимальное значение микротвердости (4500 МПа) было зафиксировано в приповерхностном слое (рис. 3). Увеличение значения микротвердости в данной зоне объясняется насыщением поверхности расплава кислородом воздуха [3].

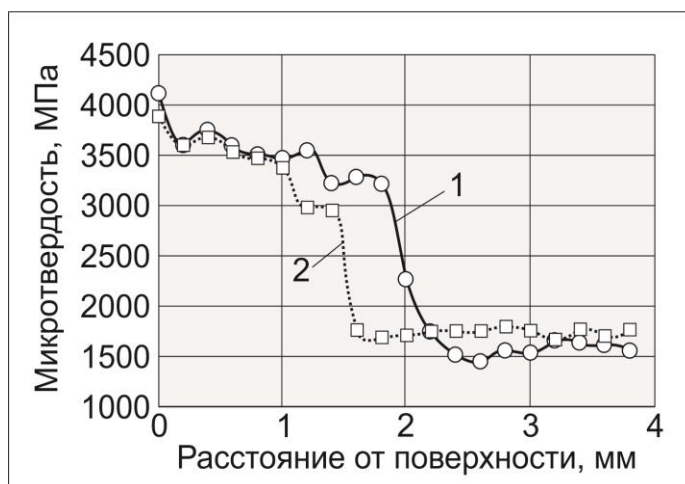


Рис. 3 Распределение микротвердости по сечению образцов:

1 – после наплавки 68 % (вес.) Nb и 32 % (вес.) CaF_2 ;

2 – после наплавки 68 % (вес.) Nb, 24 % (вес.) CaF_2 и 8 % (вес.) LiF

Вневакуумная электронно-лучевая наплавка позволяет получать ниобийсодержащие покрытия большой толщины (до 2 мм) на поверхности

титана VT1-0. Качественная поверхность формируется в случае наплавки легирующей порошковой смеси, содержащей одновременно CaF_2 и LiF . При этом состав флюса не влияет на структуру и свойства покрытий. Структура покрытий имеет преимущественно дендритное строение. При больших увеличениях наблюдается структура игольчатого типа. Уровень микротвердости наплавленных слоев составляет 3000-3500 МПа.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Materials development and corrosion problems in nuclear fuel reprocessing plants / B. Raj, U. K. Mudali // Progress in Nuclear Energy. – 2006. – Vol. 48. – P. 283-313.
2. Effect of heat treatment on the corrosion behaviuor of Ti-5Ta-1.8Nb alloy in boiling concentrated nitric acid / A. R. Shankar, R. K. Dayal, R. Balasubramaniam, V. R. Raju, R. Mythili, S. Saroja, M. Vijayalakshmi, V. S. Raghunathan // Journal of Nuclear Materials. – 2008. – Vol. 373. – P. 277-284.
3. Вневакуумная электронно-лучевая наплавка порошков системы титан-тантал-ниобий на титан VT1-0 / Т. В. Журавина, И. А. Батаев, А. А. Руктуев, А. П. Алхимов, О. Г. Ленивцева, О. А. Ленивцева // Обработка металлов (технология, оборудование, инструменты). – 2012. – № 1. – С. 90-95.
4. Process optimization of Ti-Nb alloy coatings on a Ti-6Al-4V plates using a fiber laser and blended elemental powders / V. Fallah, S. F. Corbin, A. Khajepour // Journal of Materials Processing Technology. – 2010. Vol. 210. – P. 2081-2087.
5. Закалка и наплавка релятивистским электронным пучком вне вакуума. Технологические возможности метода / М. Г. Голковский. LAP LAMBERT Academic Publishing, 2013. – 318 с.